

Reg'd PCT/PTO 10 MAY 2005

PCT/JP2004/013228

28. 9. 2004

10'534434

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 18 NOV 2004

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2004年 2月20日

出願番号
Application Number: 特願2004-044352
[ST. 10/C]: [JP2004-044352]

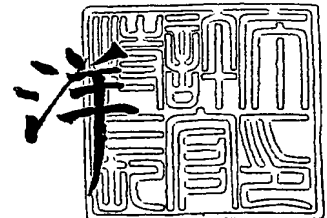
出願人
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年11月 5日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川



BEST AVAILABLE COPY

出証番号 出証特2004-3099991

【書類名】 特許願
【整理番号】 NTTH157224
【提出日】 平成16年 2月20日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G11B 20/10
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 柳澤 雅弘
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 小口 泰介
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 井上 靖之
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 日比野 善典
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 肥田 安弘
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 石井 元速
【特許出願人】
 【識別番号】 000004226
 【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100087446
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 川久保 新一
【先の出願に基づく優先権主張】
 【出願番号】 特願2003-321046
 【出願日】 平成15年 9月12日
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 009634
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9701402

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

1つの波長帯域の端と別の波長帯域の端とが50nm程度以下の間隔で配置されている2つの波長帯域を分離するために、互いに交差する2本の光導波路の交差部に、誘電体多層膜を設け、上記誘電体多層膜への入射光を透過光と反射光とに分離する波長合分波器において、

上記光導波路の比屈折率が0.3%～0.45%に設定され、

しかも、上記誘電体多層膜の光入射側の多層膜表面と、上記交差する2本の光導波路の中心の交点との距離Xが、 $0 < X < d/2$ (dは、上記誘電体多層膜の厚さ)であるように、上記誘電体多層膜の位置が設定されていることを特徴とする波長合分波器。

【請求項 2】

請求項1において、

上記交差する2本の光導波路は、上記交差部において、光導波路幅が $1.8 \sim 3.0 \mu\text{m}$ に拡大され、交差角が $8 \sim 16$ 度に設定されていることを特徴とする波長合分波器。

【請求項 3】

請求項1または請求項2において、

上記距離Xが、 $d/10 \leq X \leq 2d/5$ であることを特徴とする波長合分波器。

【請求項 4】

請求項1～請求項3のうちのいずれか1項において、

上記誘電体多層膜の多層膜厚さが、 $25 \sim 40 \mu\text{m}$ であることを特徴とする波長合分波器。

【請求項 5】

請求項1～請求項3のうちのいずれか1項において、

上記誘電体多層膜は、短波長域透過型または長波長域透過型のエッジフィルタであることを特徴とする波長合分波器。

【請求項 6】

請求項2～請求項5のうちのいずれか1項において、

上記交差部における光導波路幅が拡大された領域では、所定の長さの光導波路において、上記光導波路の幅が等しいことを特徴とする波長合分波器。

【書類名】明細書

【発明の名称】波長合分波器

【技術分野】

【0001】

本発明は、光通信等に使用される波長合分波器に関し、特に、狭い波長間隔の波長帯同士を簡易な構成で分離することができる光波長合分波器に関するものである。

【背景技術】

【0002】

大容量伝送や双方向同時伝送を可能とするために、複数の波長の光を1つの伝送路で伝送する光波長多重方式が用いられている。波長多重方式において、多重光の合分波の機能を行う合分波器には各種あり、加入者系（アクセス系）の合分波器としては、低価格な部品構成が必要である。

【0003】

図13は、従来の合波長分波器500を示す図である。

【0004】

従来の波長合分波器500は、低価格な合分波器であり、1.3 μ mと1.55 μ mとの2波長を合分波するものである（たとえば、特許文献1参照）。なお、光通信に使用される「波長合分波器」は、異なる波長の信号を一緒にしたり分離したりする素子である。

【0005】

従来の波長合分波器500は、シングルモード光導波路2、3、2'と、光導波路2と3とが交差する位置に設けられている溝4と、誘電体多層膜5とを有し、誘電体多層膜5は、溝4内に挿入され、1.55 μ m帯に反射域を有し、1.31 μ m帯に透過域を有している。

【0006】

誘電体多層膜5は、光導波路2と3とが成す交差角の2等分線に垂直で、しかもその反射面が、光導波路2と3との交差点に位置するように設定されている。

【0007】

このように、光導波路2、3と誘電体多層膜5とによって、幾何学的反射構造を持たせ、しかも、光導波路2'を、誘電体多層膜5の透過光上に配置することによって、光ファイバ（図示せず）を介して光導波路2を伝播する1.31 μ mと、1.55 μ mの波長多重光のうちで、1.55 μ m光を、誘電体多層膜5で反射させ、光導波路3に出力し、また1.31 μ m光は、誘電体多層膜5を透過させ、光導波路2'に出力する。

【0008】

この構造では、誘電体多層膜5で反射する1.55 μ m光が結合する光導波路3が、単一モード光導波路であるので、その結合損失を如何に低損失に抑えるかが重要な課題であり、これを実現する誘電体多層膜5の設定位置、光導波路2と3との交差角、高精度溝加工のためのマーカ位置等が、最適化され、所要の損失の合分波器が実現されている（たとえば、特許文献1参照）。

【0009】

なお、従来の合波長分波器500では、光導波路2'がY分岐し、分岐された光導波路のそれぞれに、レーザダイオードまたはフォトダイオードが搭載されている送受信モジュールが示されている。

【0010】

なお、上記Y分岐光導波路、レーザダイオード、フォトダイオードを、図13では、省略している。

【0011】

最近、アクセス系においてサービスの多様化が進み、分波すべき波長間隔も狭くなる傾向にある。たとえば、1芯双方向通信を行うPON（Passive Optical Network）システムにおいては、下り信号として用いられる1480～1580nm帯を、1480～15

00nm帯と1550～1560nm帯との2つに分割し、後者を、映像配信等、将来的な別サービスに割り当てる方式が提案されている（たとえば、非特許文献1参照）。

【0012】

この従来例によれば、1480～1500nm帯と1550～1560nm帯とを分離するための分波器には、波長間隔がもっとも近接する1500nmと1550nmとの2波長を分離する性能が必要である。

【0013】

また、他の従来例として、通信波長とは別の波長を試験光に用い、各種光線路試験を行うシステムにおいて、通信波長帯域の上限波長である1625nmに対して1650nmを試験波長として使用するものがある（たとえば、特許文献2参照）。この場合には、25nmで近接した信号光と試験光とを分波する必要がある。

【0014】

このような狭間隔で配置される2波長を、従来の交差光導波路を用いた部品構成で実現できれば、波長合分波器の低価格化に有利である。

【特許文献1】特開平8-190026号公報

【特許文献2】特開2002-368695号公報

【非特許文献1】NTT技術ジャーナル、2003年1月、Vol. 15、No. 1、p. 24～27

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

上記交差光導波路によって波長合分波器を構成する場合、誘電体多層膜5への入射光が発散光であることに起因して得られる合分波特性において、透過域から遮断域に至るカットオフ領域の傾斜が劣化するので、分波間隔が狭い場合には、上記カットオフ領域の傾斜の劣化を無視することができない。この影響を回避するには、光導波路として比屈折率差を小さく抑えることが、第1の条件である。

【0016】

図14は、上記従来例における特性を示す図である。

【0017】

発明者らは、光導波路比屈折率差を、実用的な下限値0.3%程度に設定して試作検討を進めたところ、光導波路2から光導波路3に至る反射経路で、図14に示すようなスペクトラムの劣化があり、波長合分波器を実現する上で障害となった。

【0018】

このスペクトラムの劣化は、カットオフ波長付近で損失最小となるピークPを有し、その長波側で損失が増加する形状であり、誘電体多層膜5の特性からは予想できないものである。

【0019】

また、合分波スペクトラムにおいて、透過域から遮断域に至るカットオフ特性についても十分とは言えないという問題がある。

【0020】

本発明は、波長間隔の狭い2波長に対しても、スペクトラム劣化がなく、しかも、カットオフ特性が良好な光導波路交差型の波長合分波器を提供することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0021】

本発明は、1つの波長帯域の端と別の波長帯域の端とが所定長以下の間隔で配置されている2つの波長帯域を分離するために、互いに交差する2本の光導波路の交差部に、誘電体多層膜を設け、上記誘電体多層膜への入射光を透過光と反射光とに分離する波長合分波器において、上記光導波路の比屈折率が0.3%～0.45%に設定され、しかも、上記

誘電体多層膜の光入射側の多層膜表面と、上記交差する2本の光導波路の中心の交点との距離 X が、 $0 < X < d/2$ (d は、上記誘電体多層膜の厚さ)であるように、上記誘電体多層膜の位置が設定されている波長合分波器である。

【0022】

すなわち、本発明において、距離 X が $0 < d/2$ である範囲では、誘電体多層膜のカットオフ特性がほぼ矩形であるので、カットオフ波長よりも長波長側において、反射損失が極端に増加することはない。つまり、図14に示す従来例における顕著な損失最小ピーク P は存在しない。

【0023】

また、本発明において、距離 X が $d/10 \leq X \leq 2/5 d$ である範囲では、誘電体多層膜のカットオフ特性がより矩形に近づくので、狭間隔で配置される波長に対しての分離度が向上する。さらに、カットオフ波長よりも長波長側における反射損失の増加が生じない。

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、光導波路交差型の波長合分波器において、波長間隔の狭い2波長に対しても、スペクトラム劣化がなく、しかも、カットオフ特性も良好であるという効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

発明を実施するための最良の形態は、以下の実施例である。

【実施例1】

【0026】

図1は、本発明の実施例1である波長合分波器100を示す図であり、図1(1)は、平面図、図1(2)は、正面図、図1(3)は、右側面図である。

【0027】

図2は、波長合分波器100において、誘電体多層膜5の多層膜表面5sと、光導波路2と3との交差点C1との位置関係を示す図である。

【0028】

波長合分波器100は、シリコン基板1と、シングルモード光導波路2、3、2'と、溝4と、誘電体多層膜5とを有する。

【0029】

シングルモード光導波路2、3、2'は、石英系のガラスで形成されているコアとクラッドとを具備する。誘電体多層膜5は、溝4内に設置されている。

【0030】

光導波路2、3は、基板1の中央部において交差点C1を具備している交差光導波路を形成し、誘電体多層膜5における反射光を光導波路3に導く。また、光導波路2'の光軸を、光導波路2の光軸と一致させ、誘電体多層膜5を透過した透過光を光導波路2'に導く。光導波路2と3とが交わる位置には、溝4が設けられ、その中に誘電体多層膜5が挿入され、溝4に誘電体多層膜5が、接着剤(図示せず)で固定されている。

【0031】

誘電体多層膜5は、波長1260～1500nmに透過帯を有し、波長1550～1600nmに反射帯を有する短波長域通過型であり、厚さ約5 μ mのポリイミド薄膜基板(基板部51)上に、SiO₂とTa₂O₅との交互多層膜が約30 μ mの厚さで形成されている多層膜である。

【0032】

したがって、光導波路2に入力された波長域1260～1500nm帯の光と、波長域1550～1600nm帯の光とのうちで、波長域1260～1500nm帯の光を透過

させて光導波路 2' に結合させ、波長域 1550~1600 nm 帯の光を反射させて光導波路 3 に結合させることができる。

【0033】

誘電体多層膜 5 は、その多層膜表面 5 s 側が、光入射側に向くように設定され、また多層膜表面 5 s と光導波路交差点 C 1 との距離 X が、 $6\mu\text{m}$ であるように設定されている。

【0034】

上記のように、誘電体多層膜 5 の厚さが $30\mu\text{m}$ であり、基板部 5 1 の厚さが $5\mu\text{m}$ であり、誘電体多層膜 5 と基板部 5 1 とが溝 4 に収まるので、この合計の厚さ $30\mu\text{m} + 5\mu\text{m} = 35\mu\text{m}$ の半分である $17.5\mu\text{m}$ が、多層膜表面 5 s から溝 4 の中心までの距離である。また、多層膜表面 5 s と光導波路交差点 C 1 との距離 $X = 6\mu\text{m}$ であるので、光導波路交差点 C 1 から溝 4 の中心までの距離は、 $17.5\mu\text{m} - 6\mu\text{m} = 11.5\mu\text{m}$ である。

【0035】

つまり、光導波路交差点 C 1 に対して、 $11.5\mu\text{m}$ だけ離れた距離に、溝 4 の中心が位置し、かつ、光導波路 2 と光導波路 3 との垂直二等分線に垂直に、しかも、誘電体多層膜 5 全体の厚さよりも 2~3 μm 広めの幅で、溝 4 が設定されている。

【0036】

実施例 1 において、溝 4 は、ダイシング・ソーで形成した溝であり、溝 4 の形成時に位置基準となる金属マークが、光導波路チップ（シリコン基板 1）上に設けられているので、多層膜表面 5 s と光導波路交差点 C 1 との距離 X を、 $6\mu\text{m} \pm 3\mu\text{m}$ に収めることができる。

【0037】

なお、図 2 (1) は、多層膜表面 5 s と光導波路交差点 C 1 との距離 X が 0 である状態を示し、図 2 (2) は、 $0 < X < d$ である状態を示し（ d は、誘電体多層膜 5 の厚さ）、図 2 (3) は、距離 X が、誘電体多層膜 5 の厚さ d と同じである状態を示す図である。

【0038】

図 3 は、波長合分波器 100 において、誘電体多層膜 5 の近傍（光導波路交差部 C 1 の近傍）を示す図である。

【0039】

光導波路交差部 C 1 には、シングルモード光導波路 2、3、2' と、誘電体多層膜 5 とが設けられている。

【0040】

なお、以後の説明では、シングルモード光導波路 2 を、入力光導波路 2 と表現し、シングルモード光導波路 3 を、出力光導波路 3 と表現し、シングルモード光導波路 2' を、出力光導波路 2' と表現する。

【0041】

入力光導波路 2 は、入力光を導く光導波路であり、出力光導波路 3 は、誘電体多層膜 5 における反射光を導く光導波路であり、出力光導波路 2' は、誘電体多層膜 5 における透過光を導く光導波路である。

【0042】

後述する理由によって、誘電体多層膜 5 に入射する光ビームの発散角は小さい程、よいので、光導波路の比屈折率差を、0.3~0.45% 程度に押さえ、しかも、溝 4 に接する領域では光導波路幅を拡幅し、モードフィールド径を大きくする。

【0043】

すなわち、入力光を導く入力光導波路 2 は、入力光導波路 2 a と、テーパ光導波路 2 b と、拡幅光導波路 2 c とによって構成され、つまり、入力光導波路 2 a は、テーパ光導波路 2 b を介して、光導波路幅が広げられ、拡幅光導波路 2 c と接続されている。

【0044】

出力光導波路 2' は、出力光導波路 2' a と、テーパ光導波路 2' b と、拡幅光導波路 2' c とによって構成され、つまり、出力光導波路 2' a は、テーパ光導波路 2' b を介

して、光導波路幅が広げられ、拡幅光導波路 2' c と接続されている。

【0045】

そして、入力光導波路 2 との光結合を維持するように、入力光導波路 2 a、テーパ光導波路 2 b、拡幅光導波路 2 c に対して点対称になる位置に、出力光導波路 2' a、テーパ光導波路 2' b、拡幅光導波路 2' c が配置されている。

【0046】

出力光導波路 3 は、出力光導波路 3 a と、テーパ光導波路 3 b と、拡幅光導波路 3 c とによって構成され、つまり、出力光導波路 3 a は、テーパ光導波路 3 b を介して、光導波路幅が広げられ、拡幅光導波路 3 c と接続されている。

【0047】

そして、入力光導波路 2 との光結合を維持するように、入力光導波路 2 a、テーパ光導波路 2 b、拡幅光導波路 2 c に対して鏡面对称になる位置に、出力光導波路 3 a、テーパ光導波路 3 b、拡幅光導波路 3 c が配置されている。

【0048】

上記実施例において、光導波路は、比屈折率差 0.3% であり、光の入出力端部における光導波路幅 2 a、3 a、2' a を、 $8\mu\text{m}$ とし、テーパ光導波路 2 b、3 b、2' b によって、光導波路幅を、 $25\mu\text{m}$ まで広げ、交差角 12 度で交差されている。

【0049】

上記実施例において、交差部 C 1 における光導波路幅が拡大された領域では、テーパ光導波路で拡大された光のモードが安定するように、その光導波路幅が一定長等幅で維持されていることが好ましい。つまり、交差部 C 1 における光導波路幅が拡大された領域では、交差する他方の光導波路と接触する位置よりも外側まで上記光導波路の幅が等しいことが好ましい。

【0050】

本発明者らが反射スペクトラムの劣化の原因について実験検討を進めた結果、光導波路交差部 C 1 に対して誘電体多層膜 5 を設定する位置によって、スペクトラムの形状が、著しく変化することが明らかになった。

【0051】

図 4 は、実施例 1 によって得られた分波特性を示す図である。

【0052】

光導波路 2 から光導波路 3 に至る反射によって得られる分波特性のうちで、 $1550\mu\text{m}$ よりも長波長部分における特性は、図 4 に示すように、平坦かつ低損失の特性であり、従来例で問題になっている長波長帯の損失増が解決される。

【0053】

図 4 において、 $1250\text{nm} \sim 1500\text{nm}$ の波長域と $1550\text{nm} \sim 1600\text{nm}$ の波長域とを分波する場合を検討すると、各通過帯域において、光源波長が最も近接する波長 1500nm と波長 1550nm とにおいて、損失は 1.5 dB 以下の良好な特性であることがわかる。

【0054】

なお、相手波長の漏話を阻止する阻止量について、光導波路 2 → 2' では、50 dB 以上と十分であるが、光導波路 2 → 3 では、誘電体多層膜 5 の透過域リップルのために、20 dB 程度に制限される。これは、実施例 1 の波長合分波器 100 の構成に起因するものではなく、誘電体多層膜 5 から反射光を取り出す他のビーム型の構成等でも見られる一般的なものである。

【0055】

さらに、分波すべき波長間隔が近接し、上記分波すべき波長間隔が 25nm になったときにおける 2 つの帯域が、たとえば波長 $1250\text{nm} \sim 1515\text{nm}$ の場合と、波長 $1540\text{nm} \sim 1600\text{nm}$ の場合とにおいて、損失 2 dB 以下、阻止量 30 dB (光導波路 2 → 2') が確保され、十分に実用可能なレベルにある。

【0056】

図5は、上記実施例において、交差点C1と、誘電体多層膜5の多層膜表面5sとの距離Xと、光導波路2→光導波路3に至る反射スペクトラムとの関係を示す図である。

【0057】

上記「距離X」は、図2に示すように、光が入射する側の多層膜表面5sと、光導波路中心が交差する点（交差点C1）との距離であり、以下では、設定距離Xとも表現する。実験では、交差点C1が、多層膜表面5sと一致する位置（図2（a）、距離X=0）から、交差点C1が、多層膜5と基板部51との境界と一致する位置（図2（c）、距離X=d）まで、誘電体多層膜5の設置位置を変化させた。誘電体多層膜5は、5 μ m厚のポリイミド膜基板（基板部51）上に、30 μ m厚のSiO₂とTa₂O₅との交互多層膜を積層した短波長透過型フィルタであり、そのカットオフ波長は、1530nm近辺に設定されている。

【0058】

また、光導波路において、比屈折率差は0.3%であり、標準幅W₁=8 μ m、拡幅幅W₂=20 μ m、交差角2 θ =12度である。

【0059】

図5に示す例によれば、距離X=0～12 μ mの範囲では、距離Xが増加するとともに、カットオフ領域の傾斜特性が改善され、より急峻な矩形に近い形になり、設定距離Xがさらに増加し、設定距離X=15～30 μ mになると、カットオフ波長付近で損失最小になるピークが現れ、また、長波長側では損失が増加する傾向を示し、設定距離Xの増加に伴い、この傾向は顕著になる。

【0060】

長波長側における損失増加は、比較的急激であり、この範囲では、誘電体多層膜5で反射するビームの光導波路3への結合が急速に低下していると見られる。事前検討で認められた図14に示す特性は、この領域のものと推測できる。このような特性を示す理由は、明確でないが、1つには、誘電体多層膜5からの反射の大部分は、多層膜表面5s付近からの反射波で決まる。反面カットオフ領域の傾斜特性は、多層部全体からの反射波で決まるためと思われる。

【0061】

そして、このような現象は、短波長域透過型または長波長域透過型のエッジフィルタを用いて急峻な傾斜特性を実現するために積層数を増加させた厚い多層膜において、顕著に現れると考えられる。

【0062】

図6は、カットオフ波長よりも長波長側における反射損失と距離Xとの関係を示す図である。

【0063】

横軸は、誘電体多層膜表面と導波路交差点との距離Xを示し、縦軸は、波長1550nmにおける反射損失を示す。距離Xが、0から15 μ mまでの範囲では、反射損失が極端に増加することはなく、反射損失は、1dBである。さらに、距離Xが、3 μ mから12 μ mの範囲では、反射損失が最小値をとる。

【0064】

以上の実験結果によると、設定距離Xが、0から誘電体多層膜の厚さの1/2に相当する15 μ mまでの範囲では、長波長側において反射損失が極端に増加することなく、長波長側における反射損失は、1dB以内である。さらに、設定距離Xが、誘電体多層膜の厚さの1/10に相当する3 μ mから同2/5に相当する12 μ mまでの範囲では、カットオフ特性がより矩形に近く、狭間隔で配置される波長に対しては、分離度が向上する。

【0065】

すなわち、設定距離X=3～12 μ mの範囲が、カットオフ領域の傾斜特性と反射損失とが両立する最適な範囲である。この傾向は、交差光導波路のパラメータを変えた他の場合にも、ほぼ同様に生じる現象である。

【0066】

上記実施例では、従来例において課題である反射スペクトラムの劣化を抑制するために、光導波路交差点C1に対する誘電体多層膜5の設定距離Xを、所定の範囲に制御する点最大の特徴である。

【0067】

図7は、交差点における光導波路幅 W_2 を、 $8\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ とし、交差角 2θ を、 8 、 10 、 12 度とした場合において、設定距離Xの適正範囲をまとめた図である。

【0068】

ここで、 $20\mu\text{m}/12$ 度は、図5の場合に相当するものである。なお、光導波路幅 $W_2 = 8\mu\text{m}$ は、交差点C1において光導波路の拡幅がされずに、全領域において $8\mu\text{m}$ の光導波路で構成された場合であり、光導波路幅 $20\mu\text{m}$ は、交差点C1において、 $8\mu\text{m}$ の標準光導波路幅が $20\mu\text{m}$ に拡幅されている場合を示す。

【0069】

図7において、○印は、カットオフ領域の傾斜特性と反射損失とが両立する最適範囲であることを示し、△印は、反射損失が許容できる範囲内であることを示し、×印は、設定距離Xとして不適当な距離であることを示している。光導波路幅、交差角とは無関係に、図5に示す場合と同様の結果を得ることができる。

【0070】

図8は、光導波路の比屈折率差を、 0.45% に設定し、誘電体多層膜5が、カットオフ波長 1620nm 近傍に設定された SiO_2 と Ta_2O_5 交互多層膜約 $40\mu\text{m}$ のものに変えた場合を示す図である。

【0071】

図8に示す場合の結果は、図7に示す場合と同様の結果になる。

【0072】

図9は、誘電体多層膜5の厚さを $25\mu\text{m}$ と薄くした場合に、カットオフ波長よりも長波長側の反射損失と距離Xとの関係を示す図である。

【0073】

横軸は、誘電体多層膜表面と導波路交差点との距離Xを示し、縦軸は、波長 1550nm における反射損失を示す。用いた誘電体多層膜のカットオフ波長は、 1530nm であり、導波路の交差角 2θ は、 12 度であり、比屈折率差は、 0.3% であり、導波路の標準幅、拡幅された幅は、それぞれ $8\mu\text{m}$ 、 $25\mu\text{m}$ である。設定距離Xが0から多層膜厚の $1/2$ に相当する $12.5\mu\text{m}$ までの範囲では、反射損失が 1dB 以下と良好な特性であり、さらに、多層膜厚の $1/10$ に相当する $2.5\mu\text{m}$ から同 $2/5$ に相当する $10\mu\text{m}$ までの範囲では、より低損失な特性を得ることができる。

【0074】

上記結果をまとめると、損失増を招かないためには、光入射側から誘電体多層膜5の厚さの半分までの領域を、光導波路交差点C1に一致させることが必要である（つまり、 $0 < X < d/2$ である）。

【0075】

また、損失・カットオフ特性をともに良好とするには、上記領域のうちで、多層膜厚の 10% 程度分、内部に制限された領域に、設定距離Xを設定することが好ましい。つまり、損失・カットオフ特性をともに良好とするには、 $d/10 \leq X \leq 2d/5$ であることが好ましい。

【0076】

すなわち、上記実施例は、光導波路の比屈折率が $0.3\% \sim 0.45\%$ に設定され、しかも、誘電体多層膜の光入射側の多層膜表面と、交差する2本の光導波路の中心の交点との距離Xが、 $0 < X < d/2$ （dは、上記誘電体多層膜の厚さ）であるように、上記誘電体多層膜の位置が設定されている例である。

【0077】

次に、光導波路パラメータが合分波特性に及ぼす影響について説明し、適正な光導波路パラメータの範囲について説明する。

【0078】

光導波路間に誘電体多層膜5を設置する波長合分波器100では、光導波路から溝4の領域に出射し、誘電体多層膜5に入射する光は、発散光になり、平行光入射を前提とする誘電体多層膜5の特性が劣化する。

【0079】

発散光の場合、誘電体多層膜5への入射角は、光導波路交差角で決まる角度を中心として発散角の分だけ広がりを持ち、互いに異なる角度で誘電体多層膜5に入射する。このように互いに異なる角度で誘電体多層膜5に入射するので、上記特性の劣化が生じ、また、異なる入射角によって、カットオフ波長が少しずつ、ずれるので、その重畳として現れる誘電体多層膜5の応答におけるカットオフ領域の傾斜が、平行光入射と比べて鈍る。

【0080】

この影響を小さくするためには、低比屈折率差の光導波路を用い、また、溝4に接する光導波路幅を拡大することが有効である。このように、低比屈折率差の光導波路を用い、溝4に接する光導波路幅を拡大することによって、溝4に接する光導波路のモードフィールド径が局所的に拡がり、誘電体多層膜5に出射する光ビームの発散角が小さくなる。

【0081】

比屈折率差が0.3%未満であると、標準的な接続用ファイバの比屈折率差と整合しなくなり、また、光導波路の許容曲げ半径が増大し、光導波路寸法が大きくなるので、比屈折率差を0.3%未満にすることは、実用的でない。一方、比屈折率差が0.45%以上であると、誘電体多層膜5のカットオフ領域の傾斜特性が劣化するので、目的とする波長分離度を得ることができない。

【0082】

したがって、比屈折率差は、0.3～0.45%程度がよい。

【0083】

また、拡幅光導波路の好ましい寸法 W_2 は、比屈折率差が0.3～0.45%である場合、入出力光導波路2aの標準幅 $W_1 = 7 \sim 8 \mu\text{m}$ に対して、幅 $W_2 = 18 \sim 30 \mu\text{m}$ 程度であることがよい。入出力光導波路の幅 W_2 が、 $18 \mu\text{m}$ よりも小さいと、モードフィールド径の拡大効果が十分ではなく、一方、入出力光導波路の幅が、 $30 \mu\text{m}$ 以上であると、多モード化の影響で、合分波特性が不安定になる。

【0084】

さらに、光導波路を構成するコアの厚さを、 $7 \sim 10 \mu\text{m}$ に設定し、入出力光導波路2aの断面を、略矩形のコア形状とするが、コア厚をやや厚めに設定することによって、光導波路の曲げ損失を抑えることができる。このようにすれば、曲げ部の曲率を小さくし、光導波路を小型にする場合に有利である。

【0085】

テーパ光導波路2bの長さ l_1 は、1mm程度以上がよく、このようにすることによって、テーパが緩やかになり、モードフィールド径が徐々に拡大されるので、過剰損失の発生を抑えることができる。拡幅光導波路2cを、一定長の等幅で延ばすことがよく、拡幅光導波路2cの長さ l_2 は、たとえば0.5mm程度である。拡幅光導波路2cの長さ l_2 として、一定長を確保することによって、拡幅光導波路2c中を伝播するモードが安定化されるので、誘電体多層膜5に出射する光ビームの中心が、光導波路中心と一致し、反射特性も安定に保たれる。

【0086】

カットオフ領域の傾斜特性は、図3に示す光導波路交差角 2θ にも、依存する。これは、誘電体多層膜5のカットオフ波長が $\cos\theta$ に比例するので、発散光によるカットオフ領域の傾斜特性の劣化が、誘電体多層膜5への入射角 θ が大きい程、顕著に現れるので、カットオフ領域の傾斜特性が、光導波路交差角 2θ に依存する。

【0087】

したがって、カットオフ領域の傾斜特性を劣化させないためには、交差角 2θ を小さくすることがよい。交差角 2θ を小さくすると、誘電体多層膜5における反射減衰特性が劣

化するが、拡幅された光導波路構成を採用することによって、当該反射減衰特性の劣化を軽減することができる。

【0088】

図10は、上記実施例において、光導波路交差角 2θ に対する反射減衰量を、拡幅された光導波路幅 W_2 をパラメータとして示す図である。

【0089】

ここで、比屈折率差が0.3%程度の光導波路を使用している。

【0090】

図10から、光導波路交差角 2θ を小さく設定すると、反射減衰特性が劣化するが、同じ光導波路交差角 2θ でも、光導波路幅 W_2 が大きい場合には、反射減衰量が大きい。そして、光導波路交差角を8~12度に設定し、光導波路幅 W_2 を $20\mu\text{m}$ 以上にすれば、反射減衰特性として概ね良好な35dB以上が得られることが判る。この傾向は、比屈折率差が0.45%程度である光導波路の場合も同様であり、光導波路幅 W_2 を調整することによって、光導波路交差角を8~12度の範囲に設定することができる。

【0091】

図11は、上記実施例において、交差角をパラメータとし、光導波路拡幅構造がある場合（実線）と、無い場合（点線）とにおいて、反射スペクトラムを、そのカットオフ領域で比較した図である。

【0092】

図11は、上記拡幅光導波路の導入と、交差角の設定とがカットオフ領域の傾斜特性に及ぼす影響を示す図である。カットオフの傾斜は、交差角が16度の場合よりも、交差角が12度の場合に改善され、交差角を12度または16度で一定にすれば、光導波路幅を $20\mu\text{m}$ に拡幅することによって、カットオフの傾斜がより急峻になることが判る。このようなカットオフ領域の傾斜特性の改善効果は、光導波路2から光導波路2'に至る透過特性においても得られる。

【0093】

つまり、上記実施例は、1つの波長帯域の端と別の波長帯域の端とが50nm程度以下の間隔で配置されている2つの波長帯域を分離するために、互いに交差する2本の光導波路の交差部に、誘電体多層膜を設け、上記誘電体多層膜への入射光を透過光と反射光とに分離する波長合分波器において、上記光導波路の比屈折率が0.3%~0.45%に設定され、しかも、上記誘電体多層膜の光入射側の多層膜表面と、上記交差する2本の光導波路の中心の交点との距離 X が、 $0 < X < d/2$ （ d は、上記誘電体多層膜の厚さ）であるように、上記誘電体多層膜の位置が設定されている波長合分波器の例である。

【0094】

また、誘電体多層膜5の多層膜厚さが、 $25\sim 40\mu\text{m}$ であることが好ましい。

【実施例2】

【0095】

図12は、本発明の実施例2である波長合分波器200を示す図であり、誘電体多層膜5の近傍（光導波路交差部C1の近傍）を示す図である。

【0096】

波長合分波器200は、基本的には、波長合分波器100と同じであるが、出力導波路3に対して点対称位置に導波路3'が設けられている点のみが、波長合分波器100とは異なる。

【0097】

出力光導波路3'は、出力光導波路3'aと、テーパ光導波路3'bと、拡幅光導波路3'cとによって構成され、つまり、出力光導波路3'aは、テーパ光導波路3'bを介して、光導波路幅が広げられ、拡幅光導波路3'cと接続されている。

【0098】

なお、導波路3'を、モニタ用端子等として使用するようにしてもよく、また、導波路

3' を使用せずに開放端としてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0099】

【図1】本発明の実施例1である波長合分波器100を示す図であり、図1(1)は、平面図、図1(2)は、正面図、図1(3)は、右側面図である。

【図2】波長合分波器100において、誘電体多層膜5の多層膜表面5sと、光導波路2と3との交差点C1との位置関係を示す図である。

【図3】波長合分波器100において、誘電体多層膜5の近傍（光導波路交差部C1の近傍）を示す図である。

【図4】実施例1によって得られた分波特性を示す図である。

【図5】上記実施例において、交差点C1と、誘電体多層膜5の多層膜表面5sとの距離Xと、光導波路2→光導波路3に至る反射スペクトラムとの関係を示す図である。

【図6】カットオフ波長よりも長波長側における反射損失と距離Xとの関係を示す図である。

【図7】交差部における光導波路幅 W_2 を、 $8\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ とし、交差角 2θ を、8、10、12度とした場合において、設定距離Xの適正範囲をまとめた図である。

【図8】光導波路の比屈折率差が、0.45%に設定され、誘電体多層膜5が、カットオフ波長 1620nm 近傍に設定された SiO_2 と Ta_2O_5 交互多層膜約 $40\mu\text{m}$ のものに変えた場合を示す図である。

【図9】誘電体多層膜5の厚さを $25\mu\text{m}$ と薄くした場合に、カットオフ波長よりも長波長側の反射損失と距離Xとの関係を示す図である。

【図10】上記実施例において、光導波路交差角 2θ に対する反射減衰量を、拡幅された光導波路幅 W_2 をパラメータとして示す図である。

【図11】上記実施例において、交差角をパラメータとし、光導波路拡幅構造がある場合（実線）と、無い場合（点線）とにおいて、反射スペクトラムを、そのカットオフ領域で比較した図である。

【図12】本発明の実施例2である波長合分波器200を示す図であり、誘電体多層膜5の近傍（光導波路交差部C1の近傍）を示す図である。

【図13】従来の合波長分波器500を示す図である。

【図14】上記従来例における特性を示す図である。

【符号の説明】

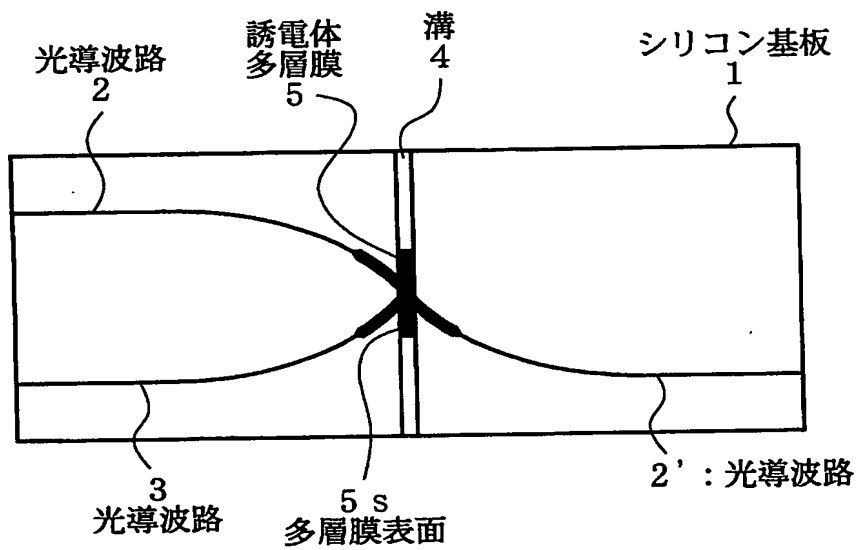
【0100】

- 1…基板、
- 2、2'、3…光導波路、
- 2a…入出力光導波路、
- 2b…テーパ光導波路、
- 2c…拡幅光導波路、
- 4…溝、
- 5…誘電体多層膜。

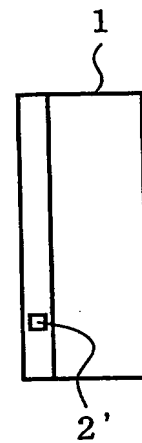
【書類名】 図面
【図 1】

100: 波長合分波器

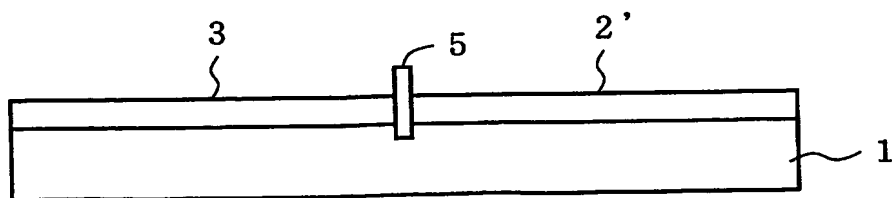
(1)



(3)



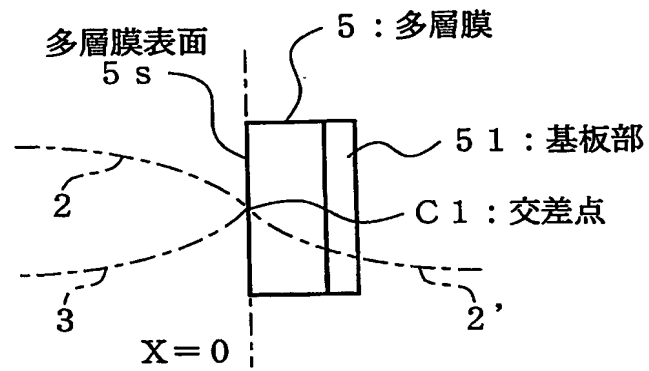
(2)



【図 2】

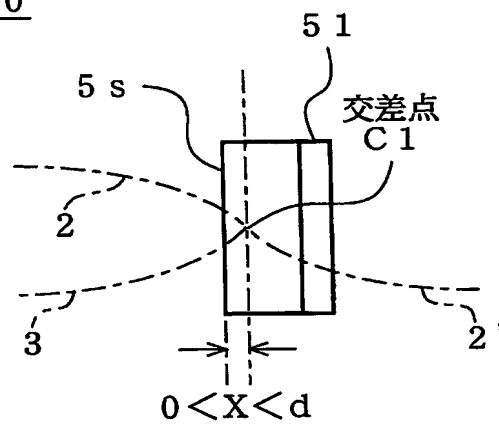
(1)

100



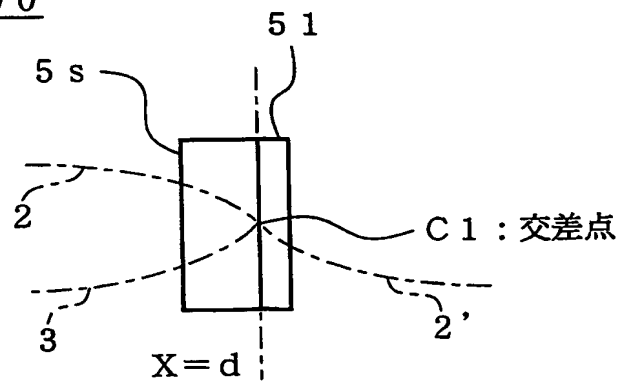
(2)

100

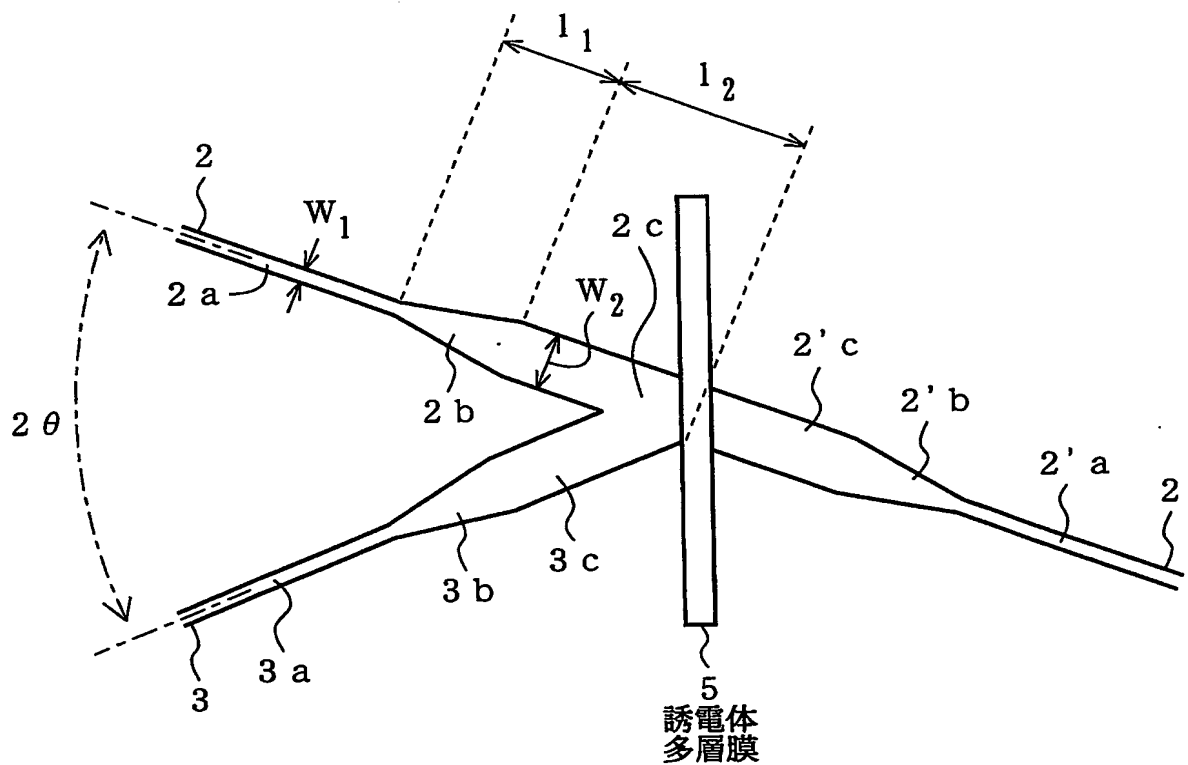


(3)

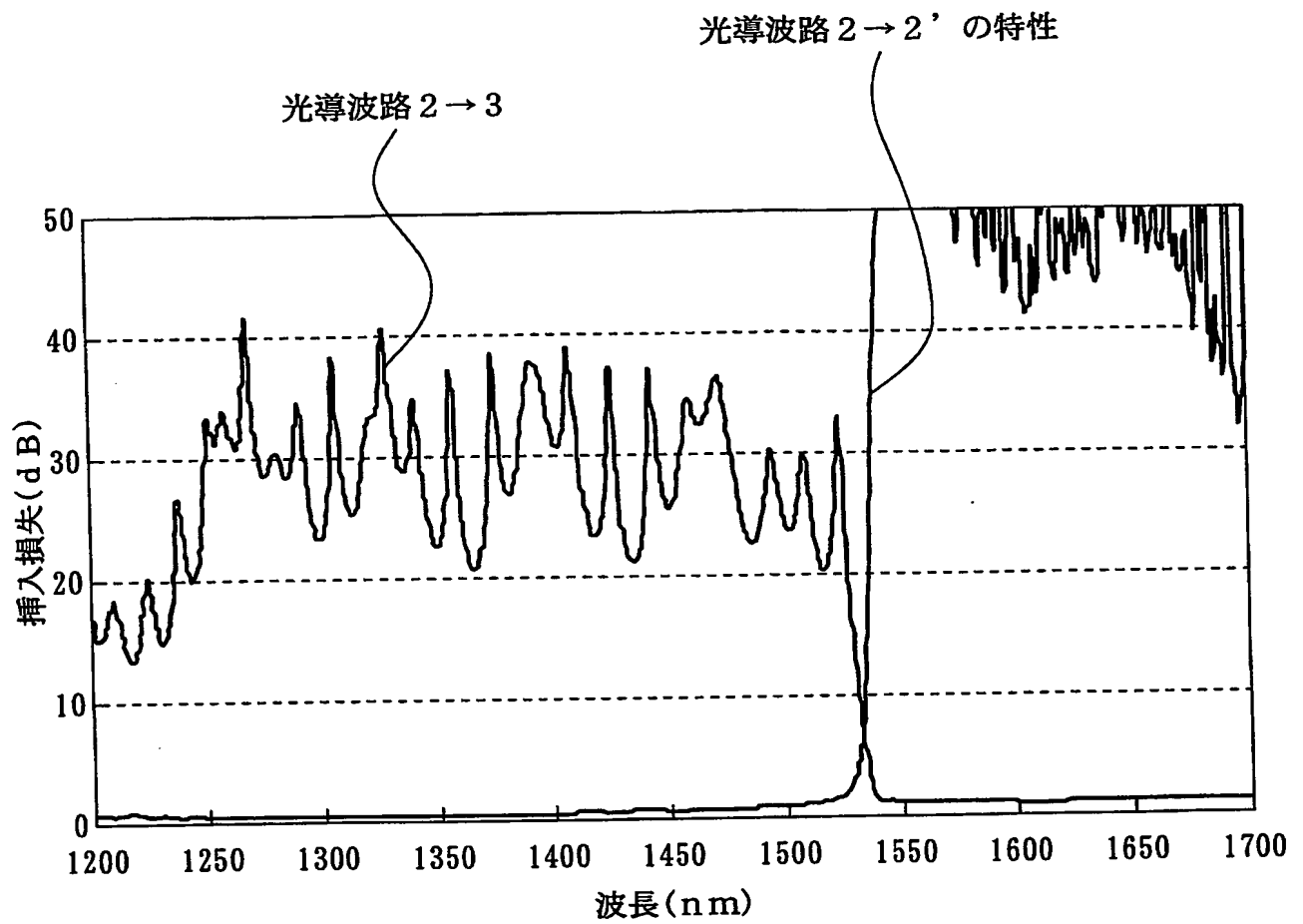
100



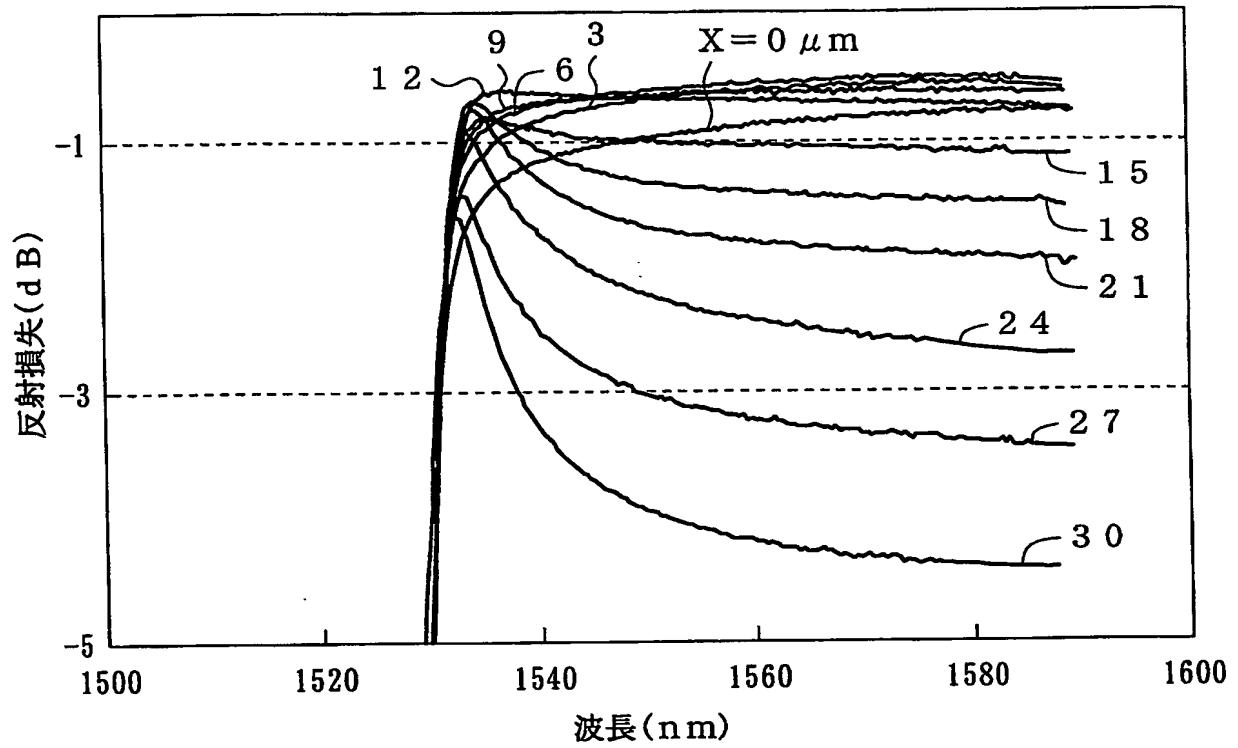
【図 3】

100: 波長合分波器

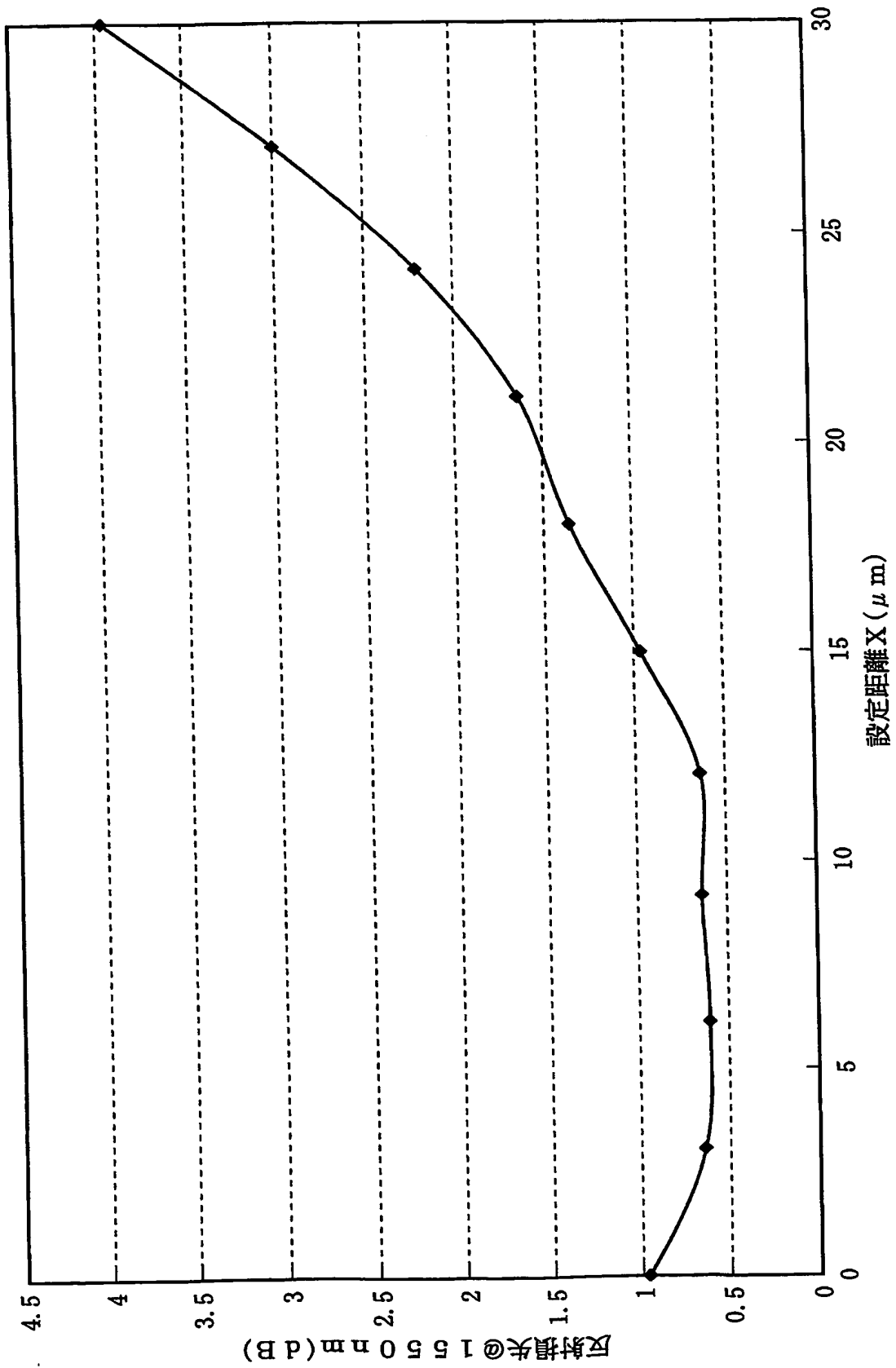
【図 4】



【図5】



【図 6】



【図 7】

交差角 導波路幅 設定距離X	8 度		10 度		12 度	
	8 μm	20 μm	8 μm	20 μm	8 μm	20 μm
0 μm	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
3	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc
6	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc
9	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc
12	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc
15	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
18	\times	\times	\times	\times	\times	\times
21	\times	\times	\times	\times	\times	\times
24	\times	\times	\times	\times	\times	\times
27	\times	\times	\times	\times	\times	\times
30	\times	\times	\times	\times	\times	\times

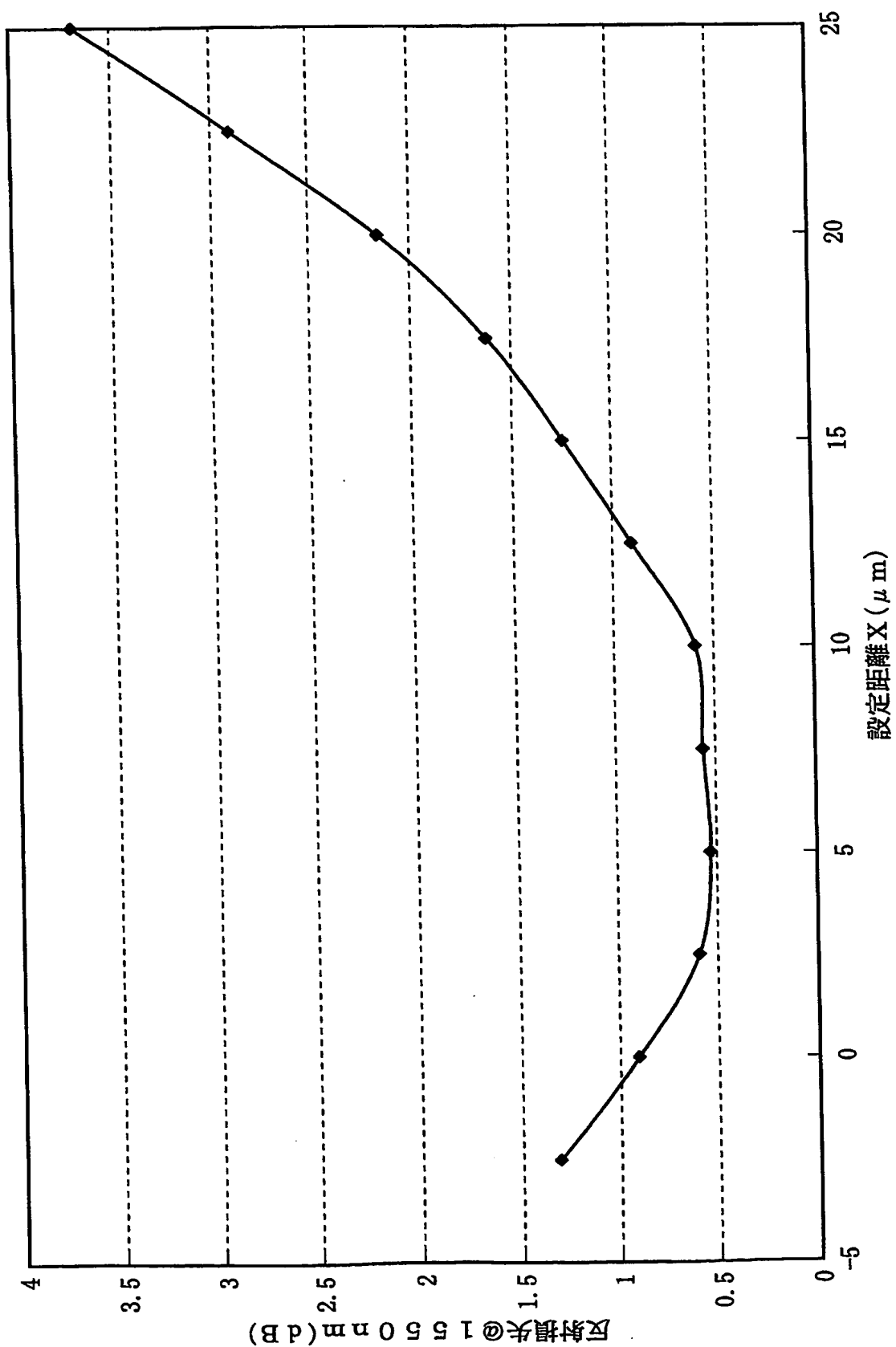
\bigcirc : 適
 \times : 不適

【図 8】

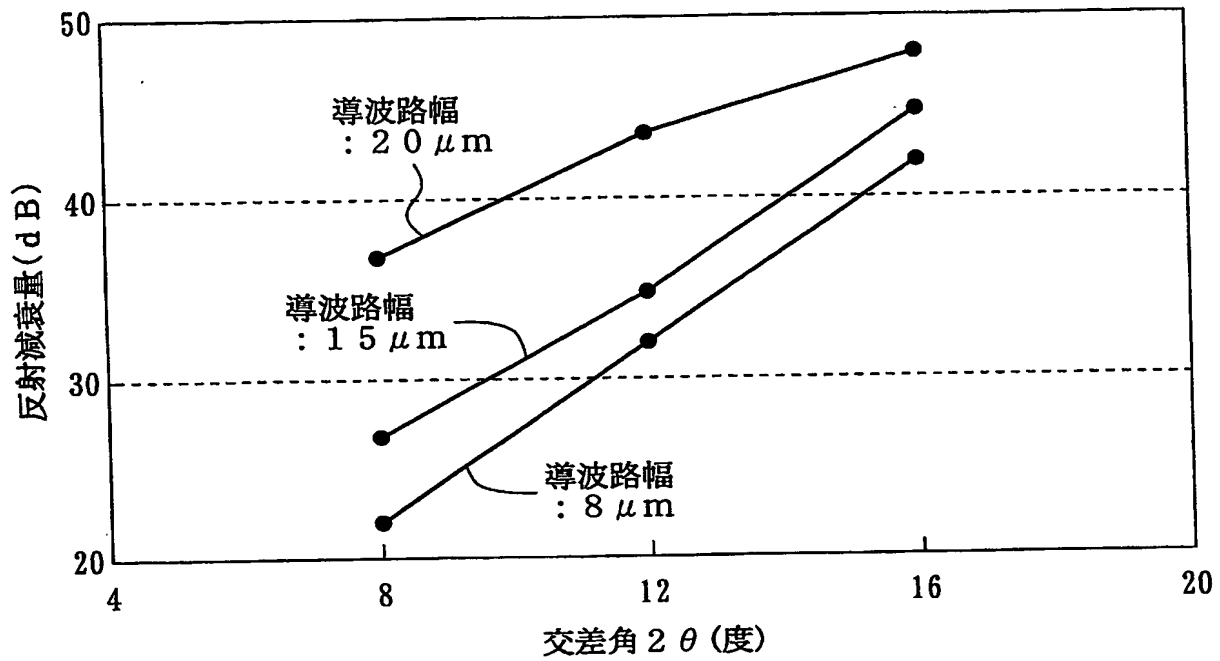
交差角 導波路 幅 設定距離 X	8 度		10 度		12 度	
	7 μ m	20 μ m	7 μ m	20 μ m	7 μ m	20 μ m
0 μ m	△	△	△	△	△	△
4	○	○	○	○	○	○
8	○	○	○	○	○	○
12	○	○	○	○	○	○
16	○	○	○	○	○	○
20	△	△	△	△	△	△
24	×	×	×	×	×	×
28	×	×	×	×	×	×
32	×	×	×	×	×	×
36	×	×	×	×	×	×
40	×	×	×	×	×	×

○ : 適
× : 不適

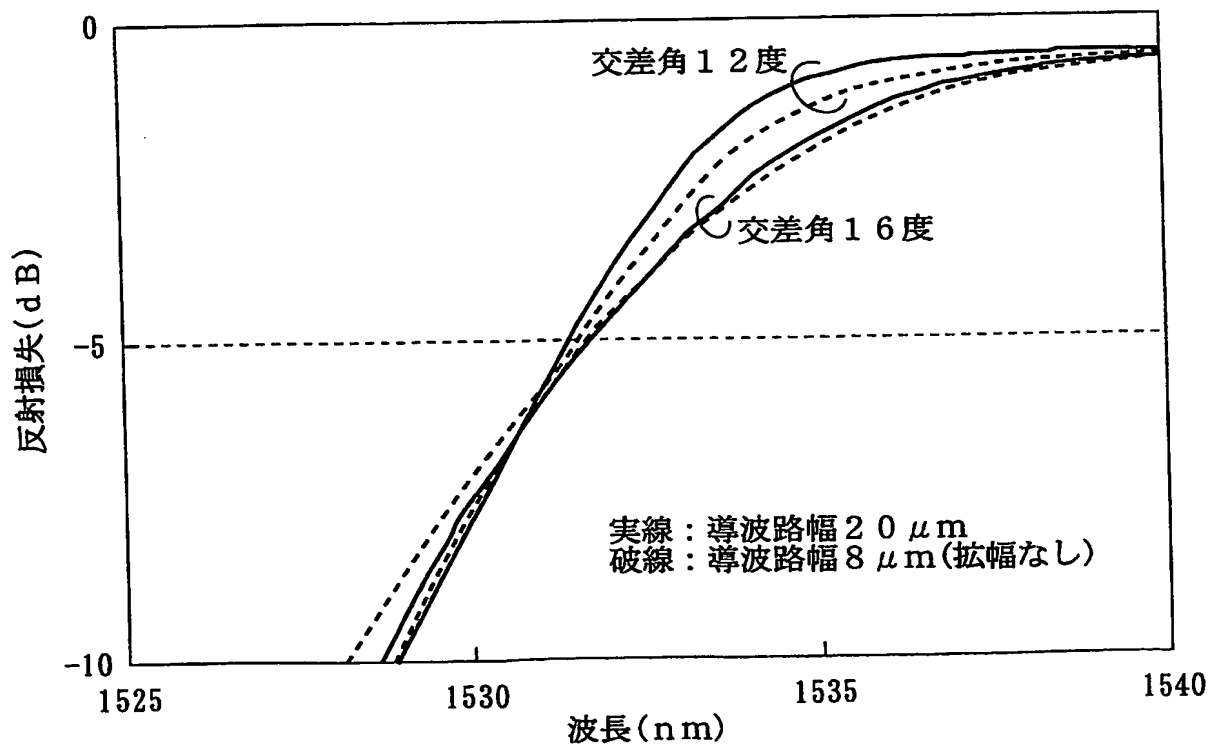
【図 9】



【図 1 0】

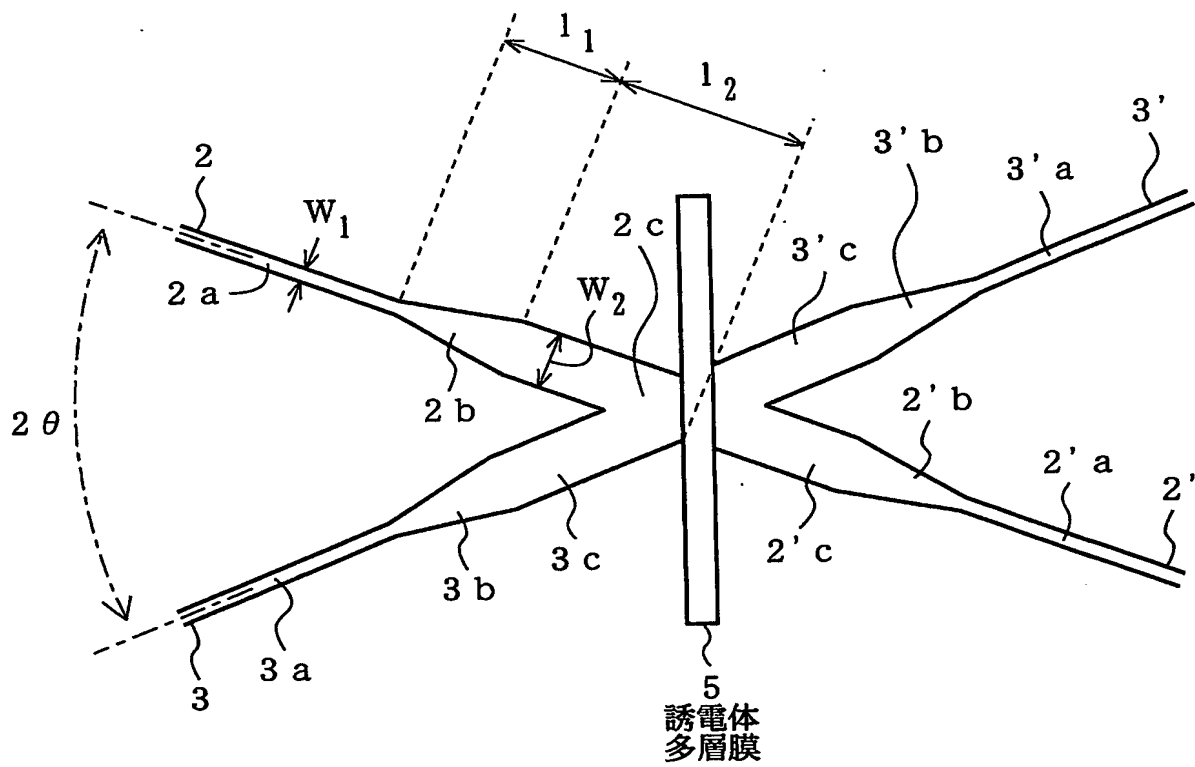


【図 1 1】



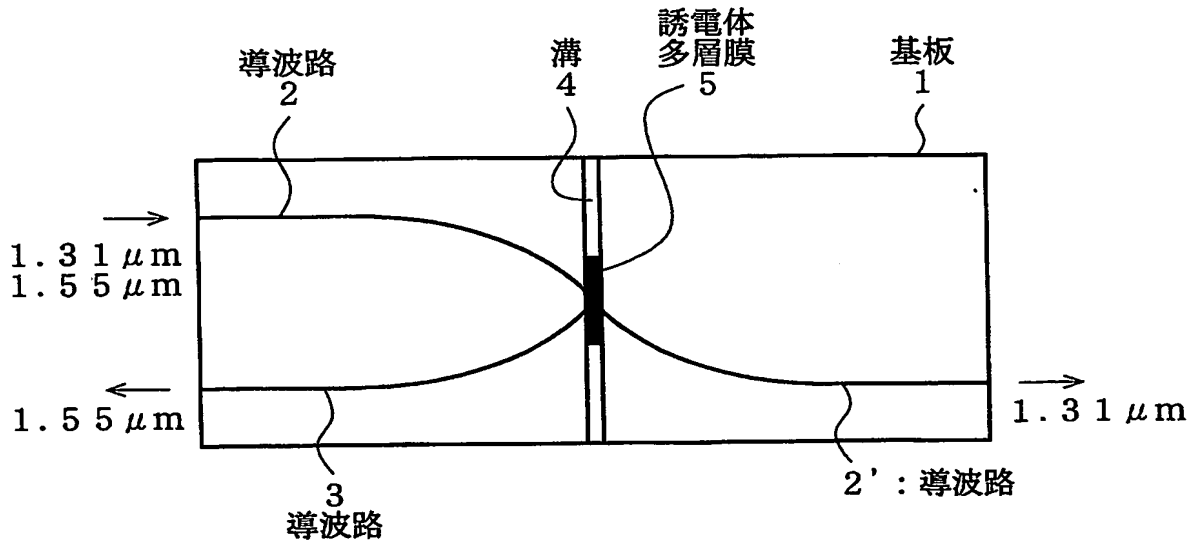
【図 12】

200 : 波長合分波器



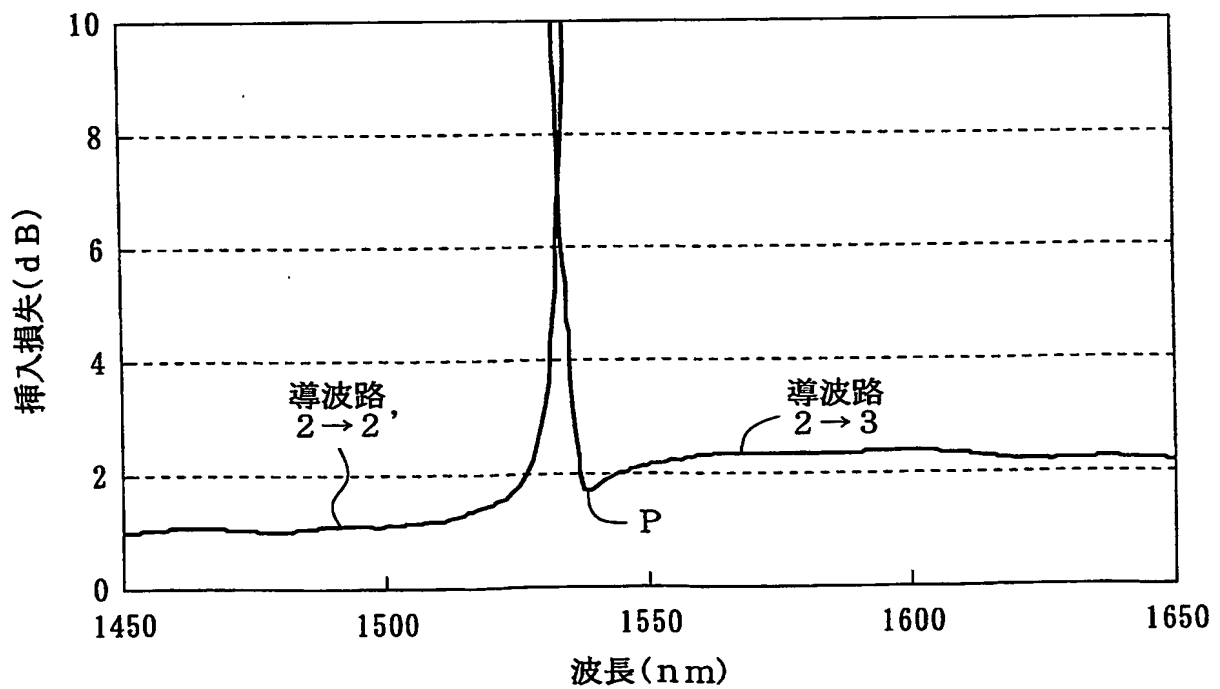
【図 13】

500: 従来の波長合分波器



【図 14】

従来の波長合分波器 500 の特性



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 波長間隔の狭い 2 波長に対しても、スペクトラム劣化がなく、しかも、カットオフ特性が良好な光導波路交差型の波長合分波器を提供することを目的とするものである。

【解決手段】 1つの波長帯域の端と別の波長帯域の端とが所定長以下の間隔で配置されている 2つの波長帯域を分離するために、互いに交差する 2本の光導波路の交差部に、誘電体多層膜を設け、上記誘電体多層膜への入射光を透過光と反射光とに分離する波長合分波器において、上記光導波路の比屈折率が $0.3\% \sim 0.45\%$ に設定され、しかも、上記誘電体多層膜の光入射側の多層膜表面と、上記交差する 2本の光導波路の中心の交点との距離 X が、 $0 < X < d/2$ (d は、上記誘電体多層膜の厚さ) であるように、上記誘電体多層膜の位置が設定されている波長合分波器である。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2004-044352
受付番号	50400276340
書類名	特許願
担当官	第八担当上席 0097
作成日	平成16年 2月25日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000004226
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目3番1号
【氏名又は名称】	日本電信電話株式会社

【代理人】

申請人	
【識別番号】	100087446
【住所又は居所】	東京都新宿区四谷2丁目4番12号 大久保ビル 6階
【氏名又は名称】	川久保 新一

特願 2004-044352

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000004226]

1. 変更年月日

1999年 7月15日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名

日本電信電話株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.